

研究課題名：MIROC5 モデルをベースにした海洋結合化学気候モデルの開発

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 秋吉英治
 共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 池田恒平
 国立環境研究所地域環境研究センター 菅田誠治
 海洋研究開発機構 山下陽介

実施年度：平成 28 年度～令和元年度

1. 研究目的

IPCC-AR5 で使われた MIROC5 モデルに化学過程を導入して、海洋結合型の MIROC5 化学気候モデルを開発する。過去の課題では、MIROC3.2 モデルに化学過程を導入して MIROC3.2 化学気候モデルの開発を行った。MIROC3.2 化学気候モデルは国際プロジェクト Chemistry Climate Model Initiative (CCMI) 推奨のシナリオ実験およびその感度実験に使われたが、海洋が結合されていないモデルであった。そのため、微量成分濃度変化と地表近くの対流圏下層の気候との関係や、微量成分濃度変化を介した大気-海洋相互作用を再現できない。オゾン層変動と気候との相互作用や微量成分濃度が介在する気候システムをより明確に理解し、温暖化を考慮したオゾン層対策に役立てるため、海洋結合型の化学気候モデルの開発を行う。

2. 研究計画

今年度は、海洋を結合した MIROC5 化学気候モデルによって、オゾン層破壊物質 (ODS) 濃度と温室効果ガス (GHG) 濃度の将来シナリオに従ったオゾン層の将来予測実験を行う。また、MIROC3.2 化学気候モデルによる 500 アンサンブル実験を前年度に引き続き行い、結果を解析し、オゾン量と ODS 濃度および GHG 濃度との関係を明らかにする。

3. 進捗状況

3.1 MIROC5 海洋結合化学気候モデルの開発

昨年度、オゾン量の長期変化に問題があった海洋結合 MIROC5 化学気候モデルの不具合を解決し、その上で 150 年の長期ランを行った。地表面の ODS 濃度は WMO-A1 シナリオ、GHG 濃度は RCP6.0 シナリオに沿って ODS 濃度と GHG 濃度を時間と共に変化させ、1950 年から 2100 年までの連続計算を行った。図 1 に、北極域および南極域のオゾン全量最低値の経年変化を、従来の海洋オフライン型モデルによる結果 (MIROC3.2 および MIROC5) とともに示す。3 つのモデルのオゾン全量最低値の長期的な変化は概ね一致しており、海洋結合化学気候モデルの開発が順調に進

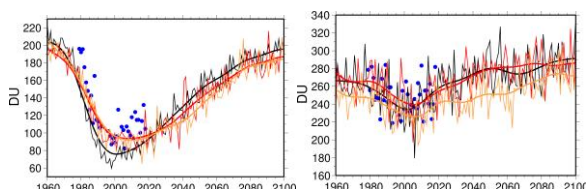


図 1 オゾン全量最低値の経年変化

(左) 9-10 月、60-90°S の最低値、(右) 3-4 月、60-90°N の最低値。1979-1981 年の 3 年間の平均値からの相対値を示す。青丸●は TOMS, OMI による観測値。黒色の細実線は、海洋オフライン版 MIROC3.2 化学気候モデルの計算結果、赤色の細実線は、海洋オフライン版 MIROC5 化学気候モデルの計算結果、橙色の細実線は、海洋結合 MIROC5 化学気候モデルの計算結果、太実線は細実線の値を 1-2-1 フィルターによって平滑化したもの。

んだことを示している。南極域の経年変化は明瞭な ODS 濃度依存性を示し (左図)、ODS 濃度ピークとなる 2000 年付近でオゾン全量値は極小となる。一方、北極域は年々変動が激しく、2000 年付近の極小は見えるが ODS 濃度変化に伴うオゾン全量の長期変化は南極ほど明瞭ではない (右図)。MIROC3.2 と MIROC5 の海洋オフライン版モデル (黒と赤) はどちらも似たような長期変化を示した。ただし、海洋結合 MIROC5 モデル (橙) は、北極域で若干異なる長期変化を示した。

3.2 MIROC3.2 化学気候モデルによる 500 アンサンブル実験—中高緯度春季オゾン全量最低値の ODS・GHG 濃度依存性

昨年度に引き続き、海洋オフライン型の MIROC3.2 化学気候モデルを用いて、ODS 濃度と GHG 濃度の複数の組み合わせを設定した 500 アンサンブルメンバー実験とその解析を行った。510 年の連続実験を行って 11 年目から 510 年目の 500 年について解析を行った。図 2 に、南北中高緯度域春季オゾン全量最低値の ODS・GHG 濃度依存性を示す。●が行った実験の GHG 濃度 (縦軸) と 50hPa の有効等価塩素量 (EESC=Cly+60Bry) (横軸) である。

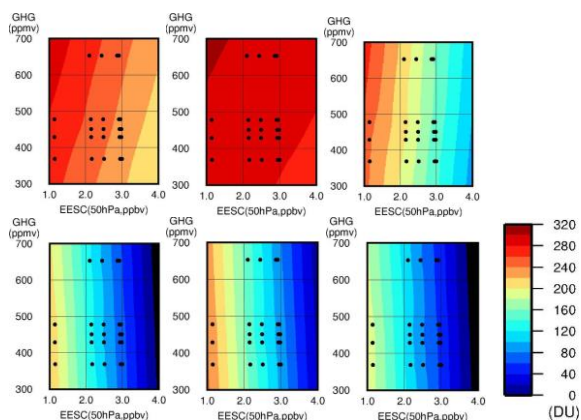


図 2 中高緯度域春季オゾン全量最低値の ODS 濃度および GHG 濃度依存性

縦軸は GHG 濃度を ppmv 単位で、横軸は 50hPa の有効等価塩素量(EESC=Cly+60Bry)を ppbv 単位で表す。黒丸●が行った実験に対応する。(上段) 45-90°N、(下段) 45-90°S。(左) 500 アンサンブル平均、(中) 春季 3 ヶ月間のオゾン全量最低値が大きい方から 5 番目までのアンサンブル平均、(右) 春季 3 ヶ月間のオゾン全量最低値が小さい方から 5 番目までのアンサンブル平均。

まず、左列の 500 アンサンブル平均値を見ると、北半球中高緯度(上)と南半球中高緯度(下)で大きな違いが見られる。北半球では ODS 濃度依存性(ODS 濃度が高くなるほどオゾン全量最低値は低くなる)と GHG 濃度依存性(GHG 濃度が高くなるほどオゾン全量最低値は高くなる)の両方が見られるのに対して、南半球では ODS 濃度依存性が主である。GHG 濃度依存性も僅かに見られるが、GHG 濃度が高くなるとオゾン全量最低値が低くなるような、北半球中高緯度とは逆の依存性を示す。これは安定した南極渦内でのオゾン破壊の特徴、すなわち、GHG 濃度が高くなることによって、下部成層圏の気温が下がり、より多くの極成層圏雲が発生し塩素や臭素による化学的なオゾン破壊反応によってオゾンが減らす、というプロセスが働いていることを示唆していると考えられる。

次に中央の列は、春季 3 ヶ月間(北半球については 3~5 月、南半球については 9~11 月)のオゾン全量最低値が大きい方から 5 番目までのアンサンブル平均値の ODS・GHG 濃度依存性を表す。左列に示された 500 アンサンブル平均に比べると、北半球では、ODS 濃度依存性が小さいことがわかる。これは、このアンサンブルでは、オゾン量が輸送によって支配されており、化学的オゾン層破壊の影響が小さいことを示す。

右列は、春季 3 ヶ月間のオゾン全量最低値が小さい方から 5 番目までのアンサンブル平均値の ODS・GHG 濃度依存性を表す。このアンサンブルでは、北半球で

は、極渦が安定しており、気温も低く、オゾン量がより化学の影響を受けやすいので ODS 濃度依存性が大きい。南半球は 500 アンサンブル平均と比べて ODS 濃度依存性にあまり変化は見られない。

以上の結果より、北半球中高緯度のオゾン全量最低値の最も低い 5 つのアンサンブルについては、そのオゾン全量最低値の ODS 濃度依存性が南半球中高緯度の ODS 濃度依存性に近くなり、それはこのアンサンブルの北極渦が比較的強く安定していて、南極渦により近い状態で存在し、南極渦内と同様な塩素や臭素による化学オゾン破壊プロセスが働いていることを示唆している。逆に、オゾン全量最低値の最も高い 5 つのアンサンブルについては、北極渦が弱く、化学的なオゾン破壊反応を受けにくく、輸送の影響をより大きく受けて、その ODS 濃度依存性が小さくなる。

現実の北半球中高緯度のオゾン全量の経年変動は、このようなアンサンブル間のばらつきが反映されて大きな年々変動を示し、確率は低い時々極端なオゾン破壊が出現するものと考えられる。したがって、北半球中高緯度の領域について、将来 GHG 濃度が増加する中で、大規模なオゾン層破壊を避けるための ODS 濃度の上限値を考えるためには、そのアンサンブル平均的な ODS・GHG 濃度依存性を見るだけでは不十分であり、アンサンブルの端に位置するアンサンブルメンバーについてもその依存性を把握する必要がある。

4. 今後の計画

開発した大気海洋 MIROC5 化学気候モデルについては、オゾン層変動を考慮した温暖化シミュレーションに使用する予定である。また、MIROC3.2 の 500 アンサンブル計算結果の解析については、気象場との関係をさらに解析する予定である。

5. 計算機資源の利用状況(2018年10月1日~2019年11月30日)

実行ユーザ数: 4

CPU 時間 v_deb: 41.01 hours, v_32cpu: 2,801,186.38 hours, v_96cpu: 49,848.99 hours, v_160cpu: 0.00 hours, 計: 2,851,076.38 hours